

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННОСТЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ГРОВОЙ ОБСТАНОВКИ

Резинкина М. М.<sup>1)</sup>, Резинкин О. Л.<sup>1)</sup>, Литвиненко С. А.<sup>1)</sup>, Gupta Н.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»

<sup>2)</sup> PETROGARDIAN, USA

В связи с широким распространением чувствительных к перенапряжениям электронных приборов, систем измерительной техники и автоматики задача предотвращения последствий от атмосферных разрядов становится все более актуальной. Молния является самым мощным источником электромагнитных помех естественного происхождения. При распространении нисходящего лидера молнии в направлении от грозового облака к земле, в промежутке «головка лидера – земля» напряженность электрического поля (ЭП) увеличивается и могут возникнуть условия, при которых от заземленных объектов формируются и развиваются восходящие лидеры. В 90% случаев молнии в средних широтах имеют отрицательную полярность. Известно, что напряженность ЭП, требуемая для продвижения восходящих лидеров положительной полярности (около 5 кВ/см), примерно в 2 раза меньше, чем для распространения лидеров отрицательной полярности [1]. В условиях урбанизации и роста высотности городской застройки вероятность возникновения восходящих лидеров с вершин небоскребов и башен увеличивается.

Для определения условий возникновения восходящих лидеров при грозовой обстановке необходима информация о распределении электрических полей в неоднородных системах со сложной пространственной конфигурацией, в частности, в окрестности объектов стержневого типа, у которых отношение длины к диаметру составляет более  $10^3 - 10^6$ . Такие параметры имеют молниеотводы, неполные каналы разрядов, лидерные каналы молнии. Применение аналитических методов расчета ЭП возможно лишь для одиночных объектов, в остальных случаях необходимо использование численных методов. При аналитическом расчете стержень представляется заряженной нитью или проводящим вытянутым сфероидом [1].

Для численного расчёта трехмерных ЭП в окрестности проводящих стержней, расположенных на заземленной проводящей полуплоскости, моделирующей поверхность земли, может быть использован метод конечных объемов. Для этого исследуемая область разбивается на ячейки-параллелепипеды так, что узлы расчетной сетки, в которых определяются потенциалы ЭП, располагаются на осях проводящих стержней и на границах раздела сред. При таком расположении элементов расчетной

сетки условия на границах раздела сред выполняются автоматически, а свойства среды внутри ячеек можно считать однородными. Процессы распространения нисходящего лидерного канала молнии и образования встречных (восходящих) лидеров от наземных объектов протекают за время порядка долей секунды [1], поэтому расчет может быть выполнен в квазистационарном приближении.

При записи разностных уравнений ячеек вокруг осей стержней учитывается нелинейный характер спада потенциала и напряженности ЭП в направлениях, перпендикулярных стержню.

Применив к уравнению Максвелла  $\operatorname{div} \vec{D} = \rho$  операцию интегрирования по  $V$  – объемам элементарных ячеек, на которые разбита расчетная область, получим решаемое уравнение. Для случая отсутствия объемного заряда с помощью теоремы Остроградского – Гаусса выполним переход к интегрированию по  $S$  – поверхностям, охватывающим объемы  $V$ , можно записать:

$$\oint \epsilon_{i,j,k} \left( -\frac{\partial \varphi}{\partial n} \right) dS = 0, \quad (1)$$

где  $n$  – нормаль к поверхности  $S$ ;  $\epsilon_{i,j,k}$  – относительная диэлектрическая проницаемость  $(i,j,k)$ -й ячейки.

Записав для каждого узла расчетной области уравнения вида (1) получим решаемую систему.

Учет логарифмического закона спада потенциала в направлении, перпендикулярном оси стержня, в численных расчетах распределения ЭП в окрестности длинных и тонких разрядных стержней типа лидерных каналов молнии и стержневых молниеотводов позволил использовать шаг расчетной сетки, пропорциональный длине стержня, а не его радиусу. Применение обычных разностных методов к расчету ЭП в окрестности таких стержней связано с использованием весьма мелкой пространственной сетки, шаг которой должен быть пропорциональным радиусу стержня, что делает задачу плохо сходящейся и требующей чрезвычайно больших объемов оперативной памяти вычислительных средств и времени расчетов.

### Список литературы

1. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащиты. М.: Физматлит, 2001. 319 с.
2. Щерба А.А., Резинкина М.М. Электромагнитные поля и их воздействие на объекты. – Киев: «Наукова думка», 2009, 191 с.
3. Cooray V. Lightning Protection. London: The Institution of Engineering and Technology, 2010. 1036 p.